



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÍZKOENERGETICKÉ NUKLEÁRNÍ REAKCE

LOW ENERGY NUCLEAR REACTIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Paták

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Roman Paták**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Nízkoenergetické nukleární reakce

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Studená fúze je hypotetický typ jaderné reakce, ke které by mělo docházet za pokojové teploty či blízko ní. V dostupné literatuře jsou k tomuto tématu rozporuplné informace, včetně zmínek o utajeně probíhajícím výzkumu v technicky vyspělých zemích.

Cíle bakalářské práce:

Soustředit informace o nízkoenergetických nukleárních reakcích z dostupných knižních, časopiseckých a internetových zdrojů.
Kriticky zhodnotit výsledky provedené rešerše.

Seznam doporučené literatury:

MERRIMAN, B. , BURCHARD, P. An Attempted Replication of the CETI Cold Fusion Experiment. Clean Energy Technologies, Inc. (CETI).

ABBAS, A. Implications of Theoretical Ideas Regarding Cold Fusion. 29 Mar 1995. Institute of Physics, Bhubaneswar - 751005, India. nucl-th/9503029 e-Print archive. Los Alamos National Laboratory. US National Science Foundation.

The Concise Columbia Electronic Encyclopedia. Columbia University Press. 1994. Licensed from Inso Corporation.

Cold Fusion Research. November 1989. A Report of Energy Research Advisory Board to the United States Department of Energy. DOE/S-0073 DE90 005611.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá shromážděním a uspořádáním informací o studené fúzi. V úvodu je popsáno její objevení, problémy s tím spojené a odezva vědecké společnosti. Dále jsou vysvětleny základní předpokládané podmínky jejího vzniku a podrobně popsány některé z experimentů. Na závěr je lehce nastíněno možné směřování využití studené fúze v budoucnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

LENR, studená fúze, nukleární produkty, nukleární reakce, deuterium, elektrolýza, gas loading, gas discharge

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with collection and arrangement of information about cold fusion. The introduction describes discovery of the cold fusion, problems associated with it and the response of the scientific community. Furthermore, there are explained the assumed basic conditions of its emergence and some of the experiments are detailly described. Finally, the possible direction of the cold fusion utilization in the future is easily outlined.

KEYWORDS

LENR, cold fusion, nuclear products, nuclear reactions, deuterium, electrolysis, gas loading, gas discharge

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PATÁK, R. *Nízkoenergetické nukleární reakce*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 34 s. Vedoucí diplomové práce Václav Píštěk

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Václava Píštěka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Roman Paták

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Václavu Píštěkovi, DrSc. za cenné rady a odbornou pomoc při zpracování této práce. Poděkování také patří mé rodině za podporu při studiu na vysoké škole.

OBSAH

Úvod	9
1 Počátky experimentů se studenou fúzí	10
1.1 Nepřesvědčivá měření	10
1.2 Výsledky experimentů	11
1.3 Heat bursts	12
1.4 Zhodnocení výborem ERAB	12
2 Současné poznatky o LENR	13
2.1 Podmínky pro vznik LENR	13
2.2 Testované metody	14
2.2.1 Elektrolytická metoda	14
2.2.2 Metoda gas loading	17
2.2.3 Metoda glow discharge	17
2.3 Nukleární produkty	18
3 Vybrané experimenty	20
3.1 Elektrolytická metoda	20
3.1.1 Ultrazvuková kavitace při elektrolýze	20
3.2 Gas loading	22
3.2.1 Experiment vědců Y. Araty, Y.C. Zanga a X.F. Wanga	22
3.3 Glow discharge	26
3.3.1 Experiment vědců A.B. Karabuty, E.A. Karabuty	26
3.3.2 Experiment D. Lettse a D. Cravense	27
3.4 Nehody	28
3.4.1 SRI International	28
3.4.2 Faculty of science Luminy	28
4 Budoucnost LENR	30
Závěr	31
Seznam použitých zkratk a symbolů	34

ÚVOD

Předmětem bakalářské práce je shromáždění dostupných informací o nízkoenergetických nukleárních reakcích. V médiích se o ní vedou rozporuplné informace. Někdy bývá označována jako budoucnost energetiky v podobě čisté energie, někdy jako pouhý výmysl vědců či podnikatelů kvůli zviditelnění.

Fleischmann-Pons efekt, efekt, který možná v budoucnu změní vnímání energetiky jako takové. Oznámení výskytu studené fúze při obyčejné elektrolýze těžké vody vědci Dr. Stanleyem Ponsem a Dr. Martinem Fleischmannem vyvolalo ohromný rozruch mezi vědeckou veřejností na celém světě. Avšak stejně jak se zprávy o fúzi rychle rozšířily, stejně tak rychle zmizely. Objev přinesl více otázek než odpovědí a byl většinou vědecké komunity odmítnut a zavrhnut. V současnosti se studená fúze opět pomalu dostává zpět na výsluní. Největší zásluhu na tom mají výzkumné týmy s reálnými a několikrát ověřenými výsledky. Práce je rozdělena na 4 hlavní části:

První část práce je věnována prvotním experimentům a názorům vědecké komunity ihned po oznámení objevu. Převážně pak potížím efektu opětovně dosáhnout, případně naměřit očekávané produkty a celkovému zhodnocení speciálním výbojem, který byl pro tuto problematiku sestaven.

Následuje druhá část, kde jsou shrnuty dosavadní znalosti o nízkoenergetických nukleárních reakcích. Jsou v ní uvedeny principy, které se považují za důležité pro vyvolání reakcí, popsány momentálně nejvíce zkoumané metody, rozebrány nukleární produkty vzniklé fúzí a na závěr jsou zde zmíněny některé nehody, ke kterým během výzkumu došlo.

Třetí část se věnuje některým ze zdokumentovaných experimentů, při kterých se fúze podařilo dosáhnout. Ke každé z vysvětlených metod je uveden a podrobně popsán konkrétní postup docílení fúze a zhodnocení dosažených výsledků.

V poslední části práce jsou pouze stručně uvedeny předpokládané výhody reaktoru pracujícího na bázi nízkoenergetických nukleárních reakcí a nastíněny možné druhy aplikace.

1 POČÁTKY EXPERIMENTŮ SE STUDENOU FÚZÍ

Vše ohledně studené fúze začalo 23. března roku 1989. Dva vědci Dr. Stanley Pons a Dr. Martin Fleischmann z Univerzity v Utahu oznámili, že se jim během experimentů s elektrolýzou těžké vody podařilo naměřit velké množství přebytečného tepla, které se nedalo přidělit žádné známé chemické reakci a jediné jejich možné vysvětlení bylo, že z určitých neznámých důvodů došlo k jaderné reakci. Toto odvážné tvrzení způsobilo okamžitě velké nadšení a údiv (hlavně z důvodu jednoduchosti experimentu, při kterém k anomálii došlo). Nicméně počáteční nadšení se velmi rychle přelilo v negativní reakce a z velké části čelilo kritice a výsměchu. [1]

Vzhledem k použitým látkám byla jedinou možnou nukleární reakcí fúze deuteria (izotop vodíku). Z reakcí uvedených v tab. 1.1 je zcela zřejmé, že z nich lze získat opravdu vysokou hodnotu přebytečného tepla. Z jakého důvodu byla reakce tedy tak negativní? [1]

Tab. 1.1 Možné reakce deuteria [1]

Reakce	Uvolněná energie (MeV)
$D + D \rightarrow 3He + n$	3,27
$D + D \rightarrow T + p$	4,03
$D + D \rightarrow 4He + \gamma$	23,85
$D + T \rightarrow 4He + n$	17,59
$D + p \rightarrow 3He + \gamma$	5,49
$p + T \rightarrow 4He + \gamma$	19,81

1.1 NEPŘESVĚDČIVÁ MĚŘENÍ

Ihned několik hodin po oznámení tohoto tvrzení začaly stovky laboratoří po celém světě provádět podobné experimenty, aby ověřily pravdivost objevu. Největší úsilí pro nalezení studené fúze bylo vynaloženo spoustou výzkumných skupin z univerzit a národních případně průmyslových laboratoří hlavně v USA. Pár dní na to sice začaly některé laboratoře hlásit podobné výsledky s přebytečným teplem, které nebyly schopny vysvětlit, ale naprostá většina výzkumných skupin žádné přebytečné teplo nenaměřila. Laboratoře, které oznámily výskyt přebytečného tepla čelily kritice, že správně neprovedly kalorimetrické měření, které je i přes jednoduchost samotného experimentu poměrně složitým procesem. Dalším problémem byla znatelná odlišnost výsledků. Některé laboratoře naměřily zisk přebytečného tepla pouhých 2 % zatímco další hlásily zisky i přes 110 %. Úspěšné laboratoře se výsledky často snažily zopakovat, ale ty opět vyšly zcela odlišně, často negativně, a to i za použití stejných metod a materiálů. [1]

Další překážkou bylo, že laboratoře s pozitivním výsledkem měly problém vůbec zachytit úroveň fúzních produktů, které by byly srovnatelné s tak velkým přebytečným teplem. To podporovalo názory, že docházelo k chybám měření, protože hlavním znakem fúze jsou právě její produkty. Výskyt fúzních produktů vyplývá i z tabulky 1.1, kde lze vyčíst, že z každé reakce

vznikne alespoň tritium nebo helium a zároveň by reakce měly produkovat pozorovatelné hodnoty radiace v podobě neutronu, energetického protonu nebo gama záření. Hodnoty radiace v těchto experimentech by měly být měřitelné s menší obtíží než hodnoty přebytkového tepla. [1]

V původním experimentu Dr. Stanleyho Ponce a Dr. Martina Fleischmanna byl například výskyt neutronů o 10^9 x menší, než by údajně měl být, pokud by přebytkové teplo vyprodukovala fúze. Kvůli nedostatkům nukleárních produktů začali zastánci studené fúze přicházet s různými vysvětleními, proč se nedá radiace naměřit. Jedna z nejvíce podporovaných tvrdila, že se fúzní energie v případě pevných látek tzn. v elektrodách nešíří pomocí radiace, ale vibracemi mřížky. Žádná z nich ale nedokázala vysvětlit nedostatečný výskyt tritia a hélia. [1]

V neposlední řadě stál proti zastáncům studené fúze názor, že je nukleární fúze již velmi dobře prozkoumaná a tvrzení o jejím výskytu za nízkých teplot bylo v rozporu s tím, co se již vědělo (atomy deuteria nemohou mít za daných podmínek dostatečnou energii na překonání Coulombovi bariéry). Fúze by měla být možná pouze za extrémně vysokých teplot, jak tomu dochází například ve hvězdách a jak bylo experimentálně dokázáno v podobných podmínkách po velmi krátkou dobu v laboratoři již v roce 1932. [1]

1.2 VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

Tvrzení, že elektrolýza těžké vody by mohla být použita jako vhodný zdroj energie, leželo pouze na několika výzkumných skupinách, které oznámily výskyt přebytkového tepla. K posouzení experimentů byl v USA vytvořen energetický poradní výbor, který shromažďoval veškeré reporty a výsledky z laboratoří. Výsledky pokusů dále třídil podle autentičnosti. Některé laboratoře posílaly velmi předčasné a prozatímní výsledky, další výsledky nebyly jednoznačné nebo byly zcela nejasné a nedaly se použít. Aby byly výsledky co nejvíce přesné, zkoumala rada i některé nezveřejněné reporty, které dostala od výzkumných skupin k dispozici a dále prováděla a kontroly přímo v laboratořích, zdali byly hodnoty přebytkového tepla správně měřeny. Ve většině případů byly kalorimetrické efekty připisatelné k přebytkovému teplu malé, nicméně je potřeba zmínit, že kalorimetrické měření jsou složitá na provedení a snadno u nich mohou malé chyby ovlivnit výsledky. [1]

Při měření byly použity 2 typy nádob, ve kterých elektrolýza probíhala. V případě otevřených reakčních nádob mohou plyny O_2 a D_2 volně opustit prostor, aniž by došlo k jejich vzájemné reakci. V druhém případě se jednalo o uzavřené reakční nádoby, plyny nemohly opustit prostor a došlo k jejich rekombinaci a opětovného vzniku D_2O . Plyn, který v případě otevřených reakčních nádob opouští reakční nádobu přenáší chemickou energii a je tedy nutné odchodí energii změřit a zpětně přičíst. Některé výsledky byly u tohoto typu nádoby nahlášeny jako pozitivní, ale převažoval jejich negativní počet. V uzavřených reakčních nádobách se za běžných okolností hodnota vstupní energie v podobě proudu vyrovná odchodí energii v podobě tepla, stejně jak vypověděla většina laboratoří. [1]

Běžně platí, že nově ohlášené vědecké objevy jsou konzistentní a reprodukovatelné a pokud nejsou jejich experimenty složité, tak se jejich pravost potvrdí nebo vyvrátí během několika měsíců. Důkazy podporující studenou fúzi byly ale jiné, protože i největší zastánci této teorie nebyli z neznámých důvodů schopni svoje experimenty zopakovat. Z tohoto důvodu byla nízkooenergetická fúze většinou výzkumníků odsouzena a experimenty s přebytkem tepla označeny za špatně provedené, případně špatně změřené. Oproti tomu zastánci studené fúze přidělovali neúspěšným experimentům různé důvody: rozdíly v materiálech, velikosti elektrod,

nedostatečnou dobu elektrolýzy, nečistoty, malé hustoty proudu, ale i různé doposud neobjevené efekty. Nicméně, přebytečné teplo bylo zaznamenáno i v experimentech, kde bylo paladium použito z rozdílných zdrojů, stejně tak i u D_2O . Byly zaznamenány výsledky, kde proudy o velkých hustotách měly negativní i pozitivní výsledky a v některých experimentech měly dokonce proudy o malé hustotě a malé elektrodě výsledek pozitivní. Některé výzkumné skupiny tvrdily, že je potřeba dlouhá doba elektrolýzy k docílení přebytečného tepla, jiné laboratoře naměřily zisk tepla během prvních pár hodin. Z provedených experimentů tedy nevyplývala žádná jasná spojitost mezi jednotlivými vlivy a údajný výskyt fúze při experimentech byl zcela nepřesvědčivý. [1]

1.3 HEAT BURSTS

Jedná se o tepelné výboje, ke kterým u některých experimentů ojediněle docházelo. Přesný důvod, kdy k nim došlo a z jakých důvodů nebyl znám. Často k nim došlo při změně hustoty proudu a trvaly po různě dlouhou dobu. Tyto výboje se projevovaly rychlými změnami v teplotě měřicích cel. Ve většině případů, kdy k nim došlo dosahovaly poměrně nízkých energetických hodnot. Ovšem vyskytly se i zprávy o velkých tepelných výbojích, kdy jejich tepelná energie dosahovala úrovní megajoulů, a dokonce docházelo k teplotám varu elektrolytu (těžká voda má teplotu varu $101,4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Právě tyto energetické změny byly v těchto experimentech důkazem výskytu do té doby neznámého efektu, ale nebyla jim zpočátku kladena až tak velká pozornost i přestože se tyto teplotní výkyvy zdály být příliš velké na to, aby se daly považovat za chyby v měření narozdíl od předchozích případů. Hlavním důvodem byly hojné chyby měření ve velkém počtu laboratoří a fakt, že k těmto výkyvům došlo pouze v minimálním počtu případů. [1]

1.4 ZHODNOCENÍ VÝBOREM ERAB

K posouzení experimentů byl v USA povolán energetický poradní výbor ERAB (Energy Research Advisory Board), jehož cílem bylo zhodnotit výsledky všech proběhlých experimentů a poté vydat doporučení o dalších postupech výzkumu. Výbor došel k následujícím závěrům: [1]

1. Pozitivní výsledky nepředstavují přesvědčivé důkazy, že by z fenoménu mohl vzniknout užitečný zdroj energie. [1]
2. Většina experimentů nezaznamenala jak přebytečné teplo, tak nukleární produkty. Některé laboratoře sice naměřily přebytečné hodnoty tepla, ale bez známky nukleárních produktů. Experimenty nepředstavují dostatečné důkazy o spojení anomálie vzniku tepla s fúzním procesem. [1]
3. Momentální chápání problematiky nepodporuje výskyt studené fúze v pevných látkách. Žádný teoretický důkaz nenaznačuje existenci vzdáleností D-D v pevné látce kratších než v molekule D_2 . Neexistují ani přesvědčivé důkazy, že je pravděpodobnost fúze zvýšena přítomností specifických pevných látek. [1]
4. Nukleární fúze při pokojové teplotě, typu zmíněného v této zprávě, by byl pravý opak všem poznáním získaným o nukleárních reakcích ve druhé polovině 20. století. Muselo by se jednat o zcela nový nukleární proces. [1]

2 SOUČASNÉ POZNATKY O LENR

Před úvodem do problematiky současných vědomostí o studené fúzi je potřeba uvést některé věci na pravou míru, protože se v některých publikacích vyskytují chybně a mohou být matoucí nebo zavádějící.

Za prvé název studená fúze bývá ve většině vědeckých publikací nahrazen zkratkou LENR (low energy nuclear reactions) nebo CMNS (condensed matter nuclear science). Hlavním důvodem je časté zmiňování ve spojitosti s horkou fúzí, jedná se však o zcela odlišné mechanismy, které spolu nemají v žádném případě souvislost. Jejich porovnání zobrazuje tabulka 2.1. Nový název je vhodný i z důvodu původního negativního ohlasu. Tento termín je používán ve všech vědeckých publikacích vydaných v posledních letech a dále bude používán i v této práci. Samotnému efektu, při kterém k LENR dochází se na počest objevitelům přezdívá Fleischmann-Pons efekt. [2]

Tab. 2.1 Porovnání studené a horké fúze [3]

Studená fúze	Horká fúze
Vyskytuje se pouze v určitých pevných látkách	Vyskytuje se v plazmě nebo v případě velkého množství energie
Na energii reaguje, ale není to podmínkou	Vyžaduje mnoho energie
Reaguje zde deuterium	Reaguje tritium a deuterium
Z reakcí vzniká hlavně ^4He	Z reakcí vzniká tritium a neutrony
Vzniká zanedbatelné množství radiace	Vzniká výrazné množství radiace
Předpokládá se, že bude stačit jednoduché zařízení, které bude pravděpodobně možno umístit v domácnostech.	Vyžaduje mohutný reaktor, tudíž je potřeba ho někam umístit.

Za druhé, k LENR skutečně dochází. I přes všechny počáteční i současné neúspěchy a problémy vůbec efektu dosáhnout nebo alespoň dospět k teoretickému vysvětlení, je výskyt LENR skutečností. Nejedná se o žádnou fikci, chyby v měření nebo neexistující efekt, jak se stále z některých stran ozývá. Experimentů bylo provedeno již tolik a s určitou úspěšností se v laboratořích daří alespoň částečně replikovat experimenty a pravidelně dosahovat hodnot přebytečného tepla včetně doposud neznámých nukleárních reakcí. Veškerá předchozí zamítnutí existence tohoto efektu lze tedy explicitně označit jako již vyvrácená. [2]

2.1 PODMÍNKY PRO VZNIK LENR

Podmínky vhodné pro vznik LENR jsou stále velkou neznámou. Od roku 1989, kdy bylo efektu poprvé docíleno v laboratoři se vývoj LENR značně rozšířil. Z původního experimentu týkajícího se elektrolýzy těžké vody vzniklo již několik metod, pomocí kterých se daří efektu

pravidelně dosahovat. Nejvíce pozornosti je momentálně věnováno metodám: gas loading, gas discharge a stále původní elektrolytické metodě. I přesto, že jsou metody na první pohled zcela odlišné, tak se předpokládá, že vhodné podmínky podporující vznik LENR budou u každé z metod velmi podobné. [2,3,4]

Jedním z hlavních faktorů, který se vyskytuje u všech metod je tzv. plnění (loading). Během elektrolyzy těžké vody bylo zjištěno, že dochází ke změně hmotnosti paládiové katody. [5] Do krystalické mřížky paládia se během elektrolyzy dostávají atomy deuteria a tím katoda nabírá na hmotnosti. Přijímat atomy deuteria do své krystalické mřížky je schopno více materiálů, ale jako nejvhodnější se považuje paládium. Provedenými experimenty bylo zjištěno, že LENR se vyskytuje pouze v případech vysokého stupně atomového poměru: počet atomů deuteria /počet atomů použitého materiálu. Při dosažení hodnot tohoto poměru, při kterých je již možný výskyt LENR se mluví o tzv. aktivaci. K LENR dochází právě v krystalické mřížce takto aktivovaného materiálu. [2,5] Přesná hodnota poměru pro výskyt LENR není stále určena, ale jako kritická hodnota se považuje přibližně 0.9 atomů deuteria na 1 atom použitého materiálu. Je pravděpodobné, že se kritická hodnota může lišit dle ostatních podmínek experimentu. [7] V experimentech je často testováno i plnění vodíkem, ale v žádném z nich se při tomto druhu plnění nepovedlo docílit vzniku přebytkového tepla. Důvod proč k reakci dochází právě v mřížce pevné látky není znám. Zajímavostí je, že atomy deuteria jsou v mřížce pevné látky od sebe vzdáleny přibližně $1,7 \times 10^{-1}$ nanometrů, kdežto v molekule D_2 jsou k sobě atomy mnohem blíže, vzdálenost asi $0,75 \times 10^{-1}$ nanometrů a šance na jejich reakci by tedy měla být větší mimo pevnou látku. Nicméně jsou v obou případech atomy od sebe pro jakoukoliv reakci příliš vzdáleny. V úvahu padla např. teorie tunelování z kvantové mechaniky, ale k takovému efektu dochází jen ojediněle a způsobil by reakci pouze dvou atomů. [1] Plnění deuteriem se dosahuje u každé metody jiným způsobem a ovlivňuje ho mnoho proměnných. Další faktory ovlivňující LENR se odvíjí od použitých metod a pravděpodobně nejsou ani všechny objeveny. [2]

2.2 TESTOVANÉ METODY

V roce 1989 vznikla velká snaha přijít s průlomovým postupem k docílení stabilních a vysokých hodnot přebytkového tepla při LENR. Vzhledem k faktu, že se efekt po celou dobu nedařilo vysvětlit a ovládnout, vznikaly a stále vznikají různé nekonvekční postupy. V současně zkoumaných metodách se často experimenty diametrálně liší a do doby, než se povede efekt teoreticky zcela vysvětlit a tím docílit přesně potřebných parametrů, není možné sepsat univerzální popis metod a jejich celkový počet, proto přiblížím pouze 3 nejčastěji zmiňované a uvedu některé konkrétní experimenty při použití těchto metod.

2.2.1 ELEKTROLYTICKÁ METODA

Metoda funguje na principech elektrolyzy. V reakční nádobě s těžkou vodou D_2O se z důvodu vodivosti rozpustí soli. Nejčastěji jsou používány $LiOD$, Li_2SO_4 nebo K_2CO_3 . [2] Následně se do tekutiny umístí 2 elektrody připojené ke zdroji napětí. Jako katoda je nejčastěji použito palladium a jako anoda platina, nicméně byly testovány i jiné materiály, a i u nich se projevilo přebytkové teplo, např. nikl, který se v posledních letech dostává do popředí. Během elektrolyzy prochází proud přes elektrody tekutinou a na anodě se se formuje plyn kyslíku O_2 a na katodě plyn deuteria D_2 . Poté záleží, jestli se používá otevřená reakční nádoba nebo uzavřená. Uzavřená nádoba zabraňuje chybám při výpočtech odchozích energií v podobě plynů a je vhodnější i na využití přebytkového tepla, které neuniká do prostředí. Reakční nádoby jsou opatřeny měřicími a podpůrnými zařízeními. Nejčastěji se jedná o přístroje kontrolující hodnoty

plnění D/Pd, rezistor k nastavení hustoty proudu, termistor k měření teploty a přístroje sloužící k měření radiace. [2,3,5,6]

V experimentu není potřeba plnit katodu předem, plnění probíhá průběhem elektrolyzy a až dosáhne potřebných hodnot a pokud jsou splněny určité neznámé podmínky vyskytne se LENR. Plnění průběhem elektrolyzy je zdoluhavý proces, který může trvat i několik desítek dnů, momentálně nejsou přesně známy a popsány všechny faktory ovlivňující rychlost plnění. Hlavní vliv má materiál elektrod, trhliny materiálu a jeho příměsi. Trhliny materiálu razantně snižují jeho schopnost dosáhnout vysoké hodnoty plnění. Jako příklad příměsi může být uveden bór. V tabulce 2.2 je porovnán vliv obsahu bóru v paládiové elektrodě na rychlost plnění. Je patrné, že s menším obsahem bóru dochází k plnění rychleji. Přesná příčina je neznámá. [5]

Tab. 2.2 Plnění elektrod s obsahem bóru 0,25 % a 0,5 % [5]

Elektroda	D/Pd (5 dní) ^a	D/Pd (10 dní) ^b
Nádoba A – Pd-0,5 % B	0,643	0,640
Nádoba B – Pd-0,5 % B	0,604	0,652
Nádoba C – Pd-0,25 % B	0,692	0,716
Nádoba D – Pd-0,25 % B	0,647	0,695

^aI = 50 mA po dobu 5 dní

^bI = 100 mA po dobu 10 dní

Naopak při pozastavení plnění dochází u elektrod s vyšším obsahem bóru k pomalejšímu poklesu atomového poměru. [5]

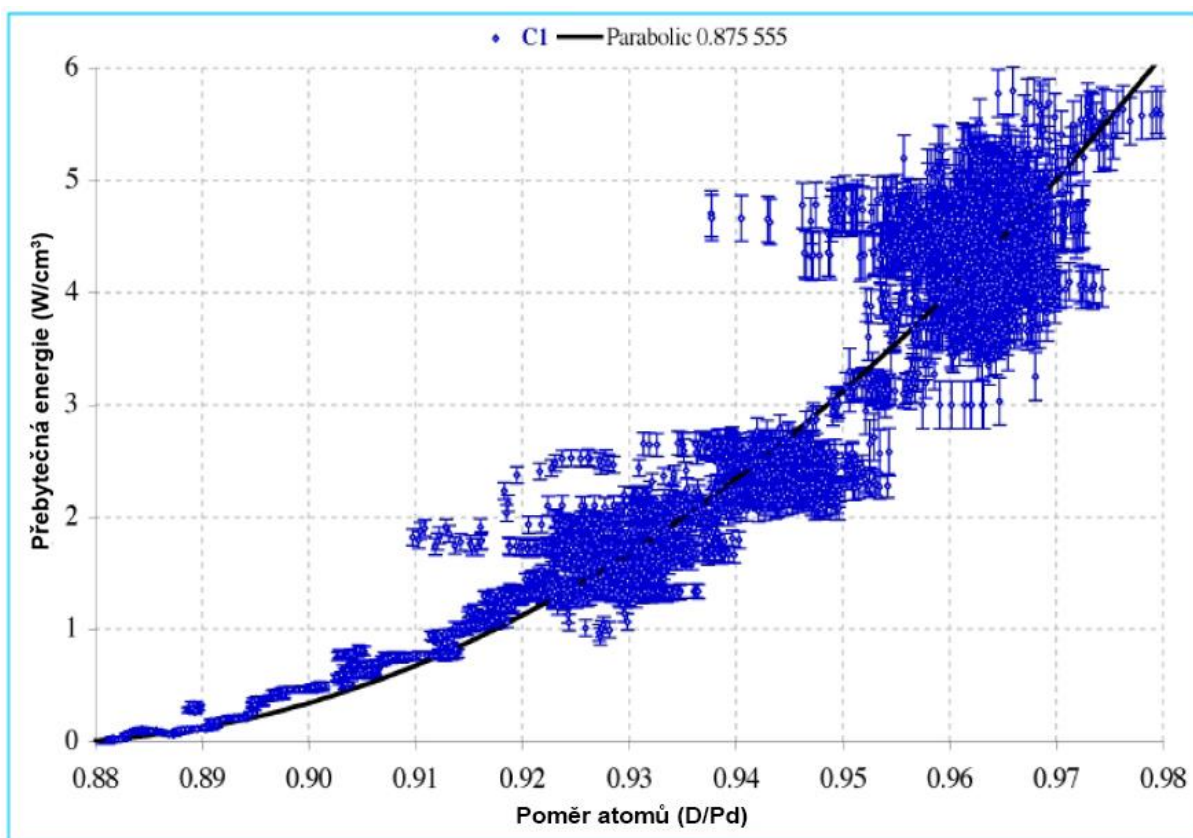
Tab. 2.3 Deloading elektrod s obsahem bóru 0,25 % a 0,5 % [5]

Čas (hod)	Pd-0,5 % B (nádob A)	Pd-0,5 % B (nádob B)	Pd-0,25 % B (Nádoba C)	Pd-0,25 % B (Nádoba D)
0	0,617	0,643	0,687	0,687
12	0,490	0,497	0,518	0,512
36	0,350	0,368	0,446	0,367
67	0,228	0,261	0,215	0,190
112	0,152	0,161	0,108	0,069
181	0,100	0,051	0,034	0,010
282	0,065	0,003	0,010	0,003

Postupnými experimenty plnění Pd elektrody se dospělo k závěrům, že Fleischmann-Pons efekt se na Pd katodách vyskytl pouze v případech, kdy v objemu paladia bylo dosaženo vysokých průměrných hodnot plnění. [5]

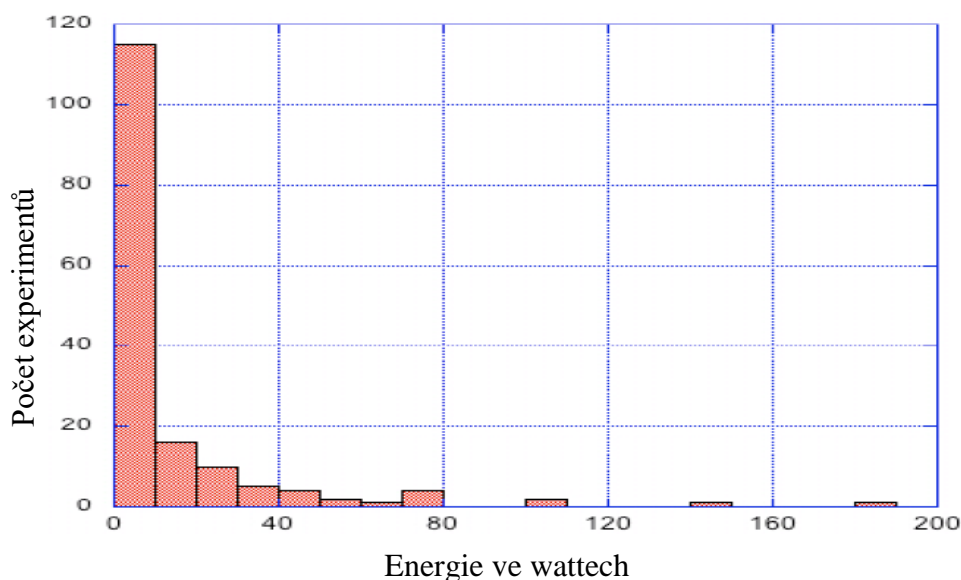
Z grafu 2.1 vyplývá, že hodnoty efektu se po aproximaci zvyšují parabolicky. Práh atomového poměru, kdy k efektu došlo byl v konkrétním měření přibližně $D/Pd = 0.875$. Podobných hodnot plnění bylo dosaženo i v dalších laboratořích. Vlivem vysokého plnění dochází v materiálu ke vzniku vysokých hodnot vnitřního pnutí a je tedy nutností, aby katoda toto pnutí při experimentu vydržela. [5]

Ze 49 pokusů provedených na institutu SRI (Stanford Research Institute) se při hodnotě D/Pd menší než 0.9 nepodařilo naměřit kalorimetrické odchylky ani v jednom případě (19 experimentů). V rozmezí hodnot 0.9-0.95 se podařilo přebytečné teplo naměřit přibližně v polovině případů (15 experimentů) a v plnění s hodnotami vyššími než 0.95 se podařilo různých hodnot přebytečného tepla dosáhnout ve všech experimentech. [5]



Obr 2.1 Závislost přebytečné energie na atomovém poměru. Měřeno na drátové katodě dlouhé 30 cm s průměrem 1 mm. [6]

Elektrolytická metoda byla úspěšně otestována v několika stovkách experimentech (v grafu 2.2 jsou uvedeny výsledky ze 153 úspěšných pokusů od roku 1989 do roku 2006). I přes všechny úspěšně provedené testy se vyskytuje spousta neznámých faktorů ovlivňující hodnoty přebytkového tepla a obecně chování reakce. Největší neznámou je průběh reakce jako takové. Bohužel momentálně neexistuje jediná potvrzená teorie, která by dokázala důvod vzniku LENR během elektrolytické metody vysvětlit. [2,3]



Obr. 2.2 Porovnání 153 nezávislých experimentů podle produkce tepla [3]

2.2.2 METODA GAS LOADING

Metoda byla poprvé otestována vědci Aratou a Zangem z japonské univerzity v Ósace. Během několika na sobě nezávislých pokusů bylo úspěšně naměřeno přebytkové teplo a nukleární produkty. [2]

Princip je velice jednoduchý. Speciální materiál v podobě nanoprášku se uzavře do nádoby, do které je následně konstantní rychlostí vpouštěn plyn deuteria D_2 . Během tlakování plynem dochází k plnění nanoprášku deuteriem a při vhodných podmínkách dojde k výskytu LENR. Přesné důvody výskytu a vysvětlení nejsou opět známy. Jako prášek se používají kovové směsi s nanočásticemi paládia nebo niklu. Vyšších hodnot přebytkového tepla lze dosáhnout za vyšších tlaků a teplot. Největší vliv má stejně jako u elektrolytické metody materiál a jeho struktura. Čím menších hodnot dosahuje velikost nanočástic paládia, tím vyššího přebytkového tepla lze dosáhnout. Tento fakt má s největší pravděpodobností spojitost s tím, že menší částice paládia jsou schopny dosahovat z neznámých důvodů vyšších hodnot plnění, v některých případech i 2.7 D/Pd. Výhodou metody je dosažení vysokých hodnot plnění za krátkou dobu (záleží na rychlosti tlakování). [2,3,7]

2.2.3 METODA GLOW DISCHARGE

LENR probíhá v nádobě s plynem deuteria D_2 za nízkých tlaků (přibližně 10-40 torů) a vysokého napětí mezi elektrodami. V nádobě je umístěna anoda a katoda mezi kterými probíhají krátké elektrické výboje v řádech desítek milisekund, aby nedocházelo k přehřívání elektrod a následně vlivem vysokých teplot k jejich natavení. V experimentech se nejvíce osvědčil proud v rozmezí 0 až 5 ampérů a napětí se nejčastěji pohybuje v rozmezí 500 až 9000 voltů. Vysoké

napětí v plynu deuteria tvoří plazmu, ze které ionty D^+ bombardují katodu a způsobují výskyt LENR. I jako u předchozích experimentů není momentálně přesně dán konkrétní postup, experimenty se liší jak v použitých materiálech a sestavách experimentů, tak i ve velikostech napětí, proudu, tlaků i teplot. [2,3,7,8]

2.3 NUKLEÁRNÍ PRODUKTY

Pokud opravdu dochází k jaderné fúzi je potřeba naměřit odpovídající množství nukleárních produktů. Právě měření nukleárních produktů při experimentech s přebytkovou hodnotou tepla dělalo vědcům problémy již od samotného počátku. Nukleární produkty se nedařilo naměřit vůbec a pokud ano, tak v malém množství, které vůbec neodpovídalo hodnotám vzniklého tepla. Z reakce $D+D$ vycházejí 3 možné primární reakce, které probíhají v předem daných poměrech. [2,9]

Tab. 2.4 Podíl jednotlivých reakcí deuteria během horké fúze [9]

Reakce	Podíl reakcí
${}^2_1D + {}^2_1D \rightarrow {}^3_1T(1,01\text{ MeV}) + p^+(3,02\text{ MeV})$	$<10^{-6}$
${}^2_1D + {}^2_1D \rightarrow {}^3_2He(0,82\text{ MeV}) + n^0(2,45\text{ MeV})$	0,5
${}^2_1D + {}^2_1D \rightarrow {}^4_2He + \gamma(23,82\text{ MeV})$	0,5

Velkou chybou byl fakt, že se v prvotních měřeních uvažovalo rozdělení těchto reakcí ve stejném poměru jako u horké fúze. V případě vysokých energií se totiž tento poměr nemění, ale to neplatí v případě LENR, kde jsou nukleární produkty odlišné pro každou z použitých metod. Kvůli tomuto předpokladu byla původní měření směřována převážně na hledání neutronů, které se v případě LENR vyskytují ve velmi malém množství. Problémy s detekcí předpokládaných produktů jsou stále aktuální i přesto, že již byly naměřeny a potvrzeny všechny předpokládané nukleární produkty. Nejčastějším problémem je jejich nedostatečné množství, které jen výjimečně odpovídá získanému přebytkovému teplu. [2,9]

Neutrony

Měření neutronů je v případě LENR obtížné. Neutrony vznikají v tak malém množství, že k naměření jejich toku je potřeba silně odstínit vliv pozadí, ve kterém se neutrony také vyskytují. Zároveň i v samotném experimentu se mohou nacházet rušivé prvky jako je třeba elektrický šum, který může vzniknout průběhem experimentu. I přes tyto potenciální komplikace byly neutrony úspěšně několikrát naměřeny. Jejich hodnoty se nejčastěji pohybují v poměru vůči tritiu $n/T=10^{-7}$. Původní předpokládaná hodnota byla $n/T=1$ stejně jako u horké fúze. Důležitý experiment provedl v roce 2000 A.S. Roussetski. Po úspěšně provedené elektrolyze prověřil elektrody v přístroji CR-39 (přístroj sloužící k měření radiace). Elektrody v přístroji ohřál na 50 °C, čímž se docílí uvolnění přebytkového tepla v elektrodách. Proces několikrát opakoval. Po analýze výsledků detektoru zjistil, že byly naměřeny neutrony s energií větší než 9.6 MeV. Vysvětlení je možné pomocí sekundární fúzní reakce tritia s deuteriem, která má za následek tento typ neutronů. Tímto experimentem se poprvé potvrdilo, že se v LENR vyskytují primární i sekundární reakce. Ojediněle se podařilo naměřit i velmi silné toky neutronů po krátkou dobu. V případech těchto silnějších toků nebylo většinou naměřeno teplo ani žádné tritium. Jejich výskyt je nejasný, ale nepředpokládá se, že jsou způsobeny reakcemi deuteria. [2,9]

Tritium

Na rozdíl od neutronů je přítomnost tritia snadnější naměřit, protože jsou jeho hodnoty vzniklé při reakcích mnohem větší než hodnoty pozadí. Komplikace nastávají v jeho výskytu v souvislosti s přebytným teplem. Výskyt tritia nebyl ve většině experimentů spojen s výskytem přebytného tepla. V případech, kdy se tak stalo, byly jeho hodnoty mnohem nižší než potřebné hodnoty pro vznik daného množství přebytného tepla. Například při elektrolýze těžké vody s cílem naměřit neutrony a tritium od Johna Bockrise z roku 1993 se povedlo z 58 experimentů tritium naměřit pouze v 18 a jeho hodnota byla menší než 0,1 % potřebného tritia ke generování naměřeného množství tepla. Tritium se jako produkt nejčastěji vyskytuje u metody glow discharge. [8,9,10]

Helium

Helium se zdá být hlavním produktem LENR. Naměřilo se poprvé v roce 1991 v přímé souvislosti s generováním přebytného tepla. Pokud helium opravdu vzniklo reakcí D+D mělo by zároveň být snadné naměřit záření gama, ale žádný z detektorů toto záření neměřil. V jiném experimentu s elektrolýzou v roce 1991 byly katody po skončení elektrolýzy uchovány v tekutém dusíku a poslány na analýzu, kde bylo zjištěno, že se část helia nachází těsně pod povrchem katod. Tento fakt pomohl vysvětlit nedostačené množství helia v plynech měřících cel a dále ukázal, že k reakcím dochází blízko povrchu katody. Výskyt helia byl zaznamenán i u dalších metod. V roce 2008 jeho výskyt potvrdili u gas loading metody. [2,9,10]

Transmutace

Nalezením transmutačních produktů se potvrdil předpoklad, že v případě LENR může dojít i k jiným reakcím, než je jaderná fúze. Jejich výskyt byl zjištěn při měření neutronů a záření gama během elektrolýzy. Došlo k toku neutronů, ale záření gama nebylo v průběhu naměřeno. Po uplynutí 21 hodin se hodnoty neutronů opět dostaly na úroveň pozadí, ale objevilo se záření gama. Po skončení experimentu byla použita paládiová katoda lehce radioaktivní. Analýza katody následně potvrdila výskyt izotopů rhodia, stříbra a ruthenia, které se před experimentem v katodě nevyskytovaly. Následovaly další experimenty s podobnými výsledky, během nichž se na katodách objevily různé prvky např: vanad, chrom, železo, nikl, zinek, ale zároveň se v ojedinělých případech vyskytly i radioaktivní izotopy jako je uranium, draslík nebo radon. [2,9,10]

Gama záření

Výskyt gama záření je nejvíce problematický. Jeho výskyt byl sice již u některých experimentů potvrzen, ale záření se objevuje nahodile a v množstvích, které neodpovídají hodnotám očekávaných z reakcí. Gama záření může vzniknout i jako vedlejší produkt transmutace. V tomto případě je podmínkou, aby transmutacemi vznikly radioaktivní izotopy. Tyto izotopy mohou poté gama záření vyzařovat. Dále se předpokládá, že část gama záření je pohlcena samotným kovem. [2,9]

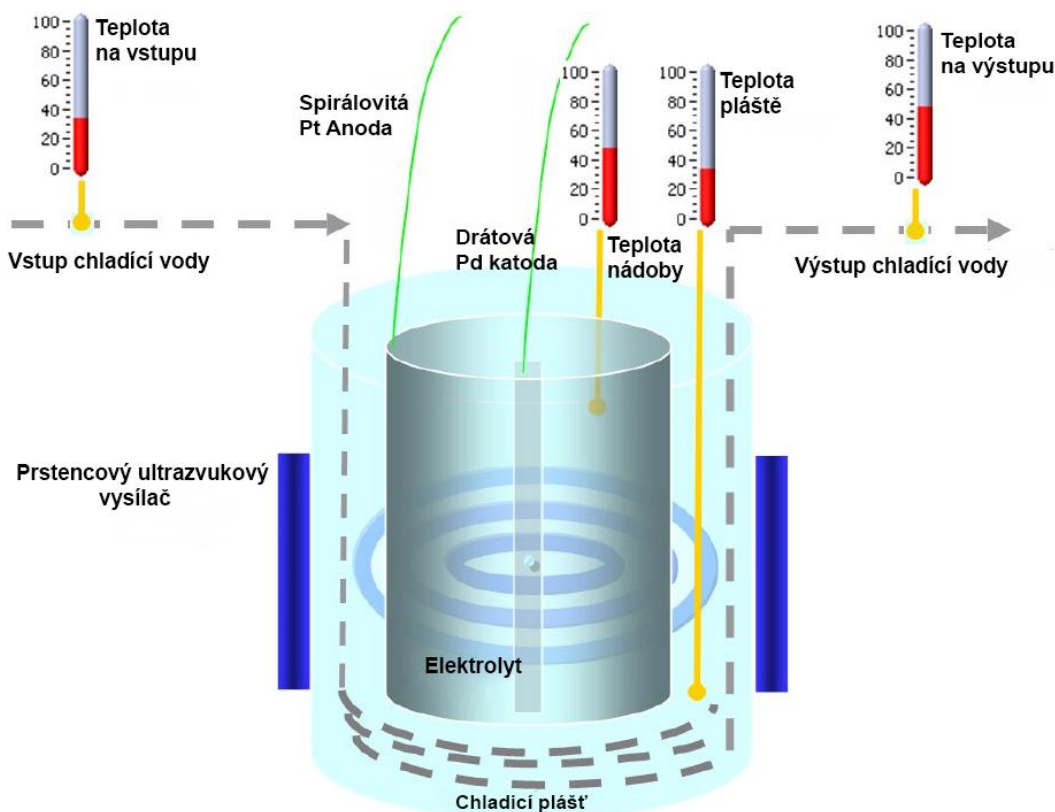
3 VYBRANÉ EXPERIMENTY

Experimenty k jednotlivým metodám jsou pro lepší orientaci v textu umístěny zvlášť. Lze je rozlišovat podle použitých metod a dle jejich cílů (hledání nukleárních produktů, testování materiálů, snaha o kontrolu reakcí atd.). Jako nejdůležitější cíl lze považovat generaci použitelných hodnot energií. Z tohoto důvodu je předmětem všech níže popsaných experimentů zisk přebytkového tepla a jeho udržitelnost. Úspěšných i neúspěšných experimentů bylo od roku 1989 již provedeno nespočet a bohužel neexistuje žádná knihovna, ve které jsou experimenty vzájemně porovnány, případně alespoň rozříděny. Navíc i experimenty spadající pod stejné metody se často razantně liší. Proto není možné brát níže zmíněné experimenty jako exaktní představitele metod, ale spíše jako seznámení s průběhy jednotlivých měření a s hodnotami energií, kterých je fúze schopna dosáhnout. V závěru kapitoly jsou uvedeny i 2 nehody, jež se během výzkumu přihodily.

3.1 ELEKTROLYTICKÁ METODA

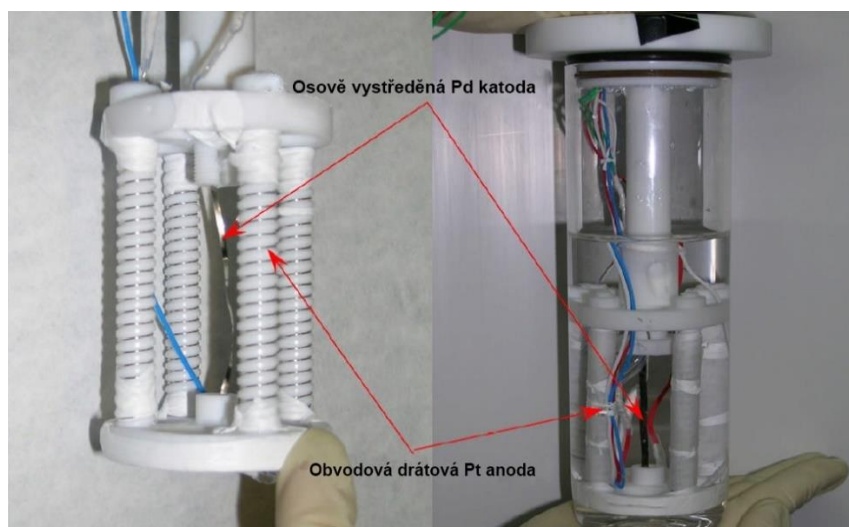
3.1.1 ULTRAZVUKOVÁ KAVITACE PŘI ELEKTROLÝZE

Experiment probíhá jako normální elektrolýza s jedním rozdílem. Kolem nádob jsou umístěny ultrazvukové vysílače, jejichž vlny mají za cíl způsobit kavitaci, která urychluje plnění deuteriem a tím zvyšuje výkon reaktoru. [11] V experimentu byly použity 3 reakční nádoby upravené pro lepší efekt ultrazvukových vln. Reakční nádoby 1 a 2 byly totožné. V jejich centru se nachází 0,03 mm pásek paládía jako katoda, po stranách nádoby je jako anoda použita platinová spirála a uvnitř je elektrolyt. Kolem reakční nádoby je vodní chlazení, které zároveň slouží k měření vzniklého tepla. Vysílač ultrazvuku se nachází na vnějším obvodu. Pro reakční celu č.1 byla použita frekvence 16 kHz, pro celu č.2 38 kHz. [12]



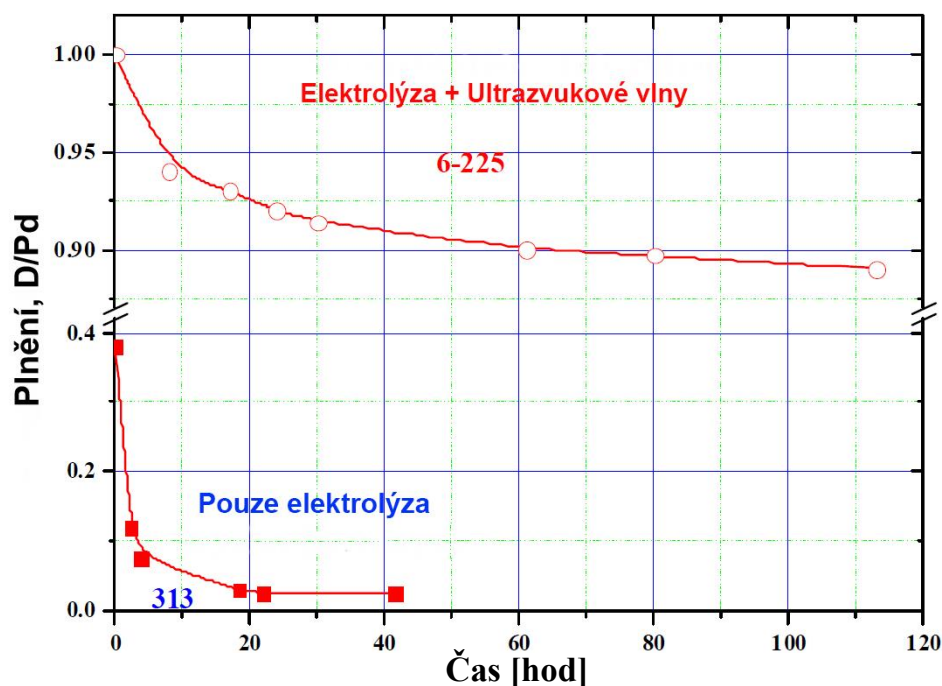
Obr. 3.1 Schéma reakčních cel 1 a 2 [12]

Reakční cela 3 používá namísto prstencového vysílače čtyři válcové vysílače umístěny od sebe vždy o 90 stupňů. Střed reakční cely tvoří opět paládiový pásek, anoda je umístěna u kraje cely. Způsob chlazení je stejný. Použitá frekvence vysílače byla 30Khz. [12]



Obr. 3.2 Rozmístění elektrod u třetí reakční cely [12]

Experimentů proběhlo celkem 36, avšak 17 z nich neuspělo kvůli technickým problémům. Nejčastější příčinou neúspěchu bylo přetržení paládiového pásku kvůli kavitaci. Ze zbylých 19 experimentů se pouze u 14 vyskytlo přebytné teplo. Experimenty ukázaly významný vliv ultrazvukových vln na LENR. Oproti obyčejné elektrolýze se dosáhlo celkově vyšších hodnot plnění a za kratší dobu. Dále se hodnoty plnění držely na velmi vysokých úrovních i 100 dní po ukončení elektrolýzy. To je pravděpodobně způsobeno vysokou hustotou defektů, které kavitace způsobila na paládiové pásce. Předpokládá se, že tyto defekty fungují jako „pasti“, které udržují deuterium v krystalické mřížce. [12]



Obr. 3.3 Porovnání úbytku hodnot plnění po skončení elektrolýzy s ultrazvukovými vlnami a bez použití těchto vln. [12]

Jednotlivé experimenty měly vynikající výsledky. V tabulce 3.1 je uvedeno 8 experimentů s největší produkcí energie. Za zmínku stojí experiment 64a ve kterém se povedlo z 1 g paládia získat 71 wattů, což je hodnota vyšší, než mají dnešní jaderné reaktory (jejich hodnoty se liší od 20 do 50 wattů na 1 g urania). Nejvyšší hodnoty pro každou z kategorií jsou označeny tučně. [12]

Tab. 3.1 Porovnání výsledků proběhlých měření [12]

Označení experimentu	56	64a	64b	GD-141	US1-15	US3-05	US3-06	US3-21
Přebytečné teplo (MJ)	3,1	1,1	>3,5	2,4	0,19	1,1	1,32	0,026
Přebytečná energie (W)	3,6	34	32	14	0,25	0,7	0,9	0,165
Maximální COP ¹ (%)	80	2500	>1500	75	600	3000	525	650
Doba generování přebytečného tepla (h)	300	17	80	90	280	960	445	55
Průměrná hodnota přebytečné energie (W)	2,9	18	>11	7,5	0,19	0,3	0,82	0,13
Průměrný zisk přebytečné energie na 1g paládia (W/g Pd)	11	71	>43	29	4	6	15	24
Specifická přebytečná energie (KeV/Pd atom)	13	5	>15	11	4	22	27	13

¹ COP (coefficient of preformance) – poměr energie dodané vůči energii získané

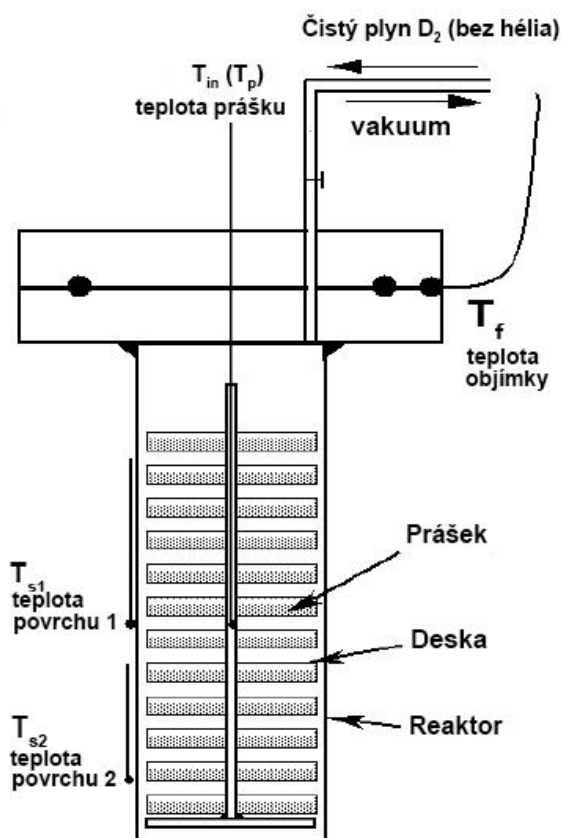
Z experimentů vyplývá, že je možné pomocí LENR získat opravdu vysoké hodnoty produkce, dokonce vyšší než současné jaderné reaktory, ale je potřeba mít nad reakcemi kontrolu a zjistit potřebné podmínky pro jejich vznik. Dále je patrné, že vycházejí zcela odlišné hodnoty v celém spektru měření i přestože byly zkoušeny pouze 3 sestavy, a to za stejných podmínek. Nukleární produkty nebyly během experimentů měřeny. [12]

3.2 GAS LOADING

3.2.1 EXPERIMENT VĚDCŮ Y. ARATY, Y.C. ZANGA A X.F. WANGA

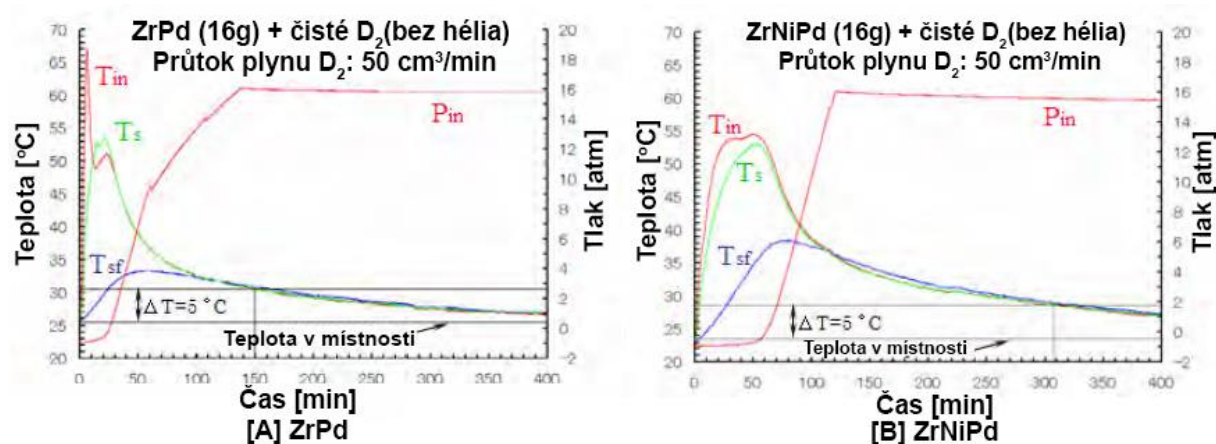
Jedná se již o několikátý úspěšný experiment vědců z ósacké univerzity, při kterém bylo docíleno LENR. Pro experiment byly použity dva typy nanosměsi: $\text{ZrO}_2\text{Pd}_{35}$ a $\text{ZrO}_2\text{Ni}_{30}\text{Pd}_5$. Ze směsi bylo nejdříve potřeba odstranit kyslík, proto byla provedena dezoxidace následujícím postupem: směs byla umístěna do vakuové nádoby, odsál se vzduch na tlak přibližně 5×10^{-5} torů a následovalo 6hodinové pečení prášku při 150 °C a jeho ochlazení zpět na pokojovou teplotu, čímž se dosáhlo podtlaku 5×10^{-6} torů. Do této vysoko vakuované nádoby se následně vpustil plyn D_2 , který měl za úkol na sebe navázat kyslík z PdO . Tímto procesem vzniklé D_2O se na závěr odsálo. Takto připravený prášek byl umístěn do reaktoru. Aby byla plocha kontaktu prášku s plynem D_2 co největší, byl prášek rovnoměrně rozmístěn na desku dle obrázku 3.4.

Posledním krokem bylo natlakování reaktoru konstantním vpouštěním plynu deuteria na 16 atmosfér. [13]



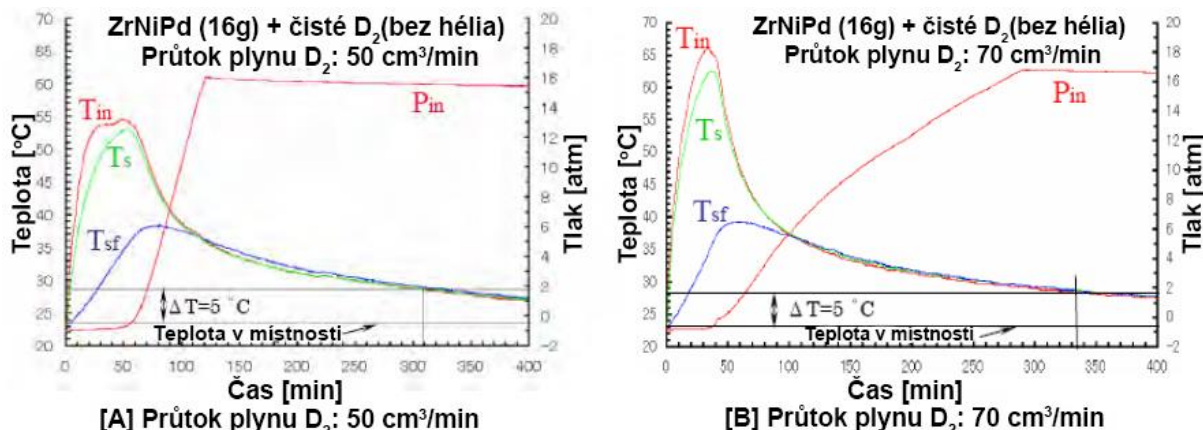
Obr. 3.4 Reaktor použitý v experimentu [13]

Výsledky experimentu dokazují razantní vliv vybraného materiálu. Na obrázku 3.5 lze pozorovat, že materiál ZrPd dokázal generovat energii, která udržela teplotu reaktoru 5 °C nad pokojovou teplotou po dobu 150 minut, kdežto materiál ZrNiPd vydržel až 308 minut. Pro oba případy byla velikost toku plynu 50 cm³/min. [13]



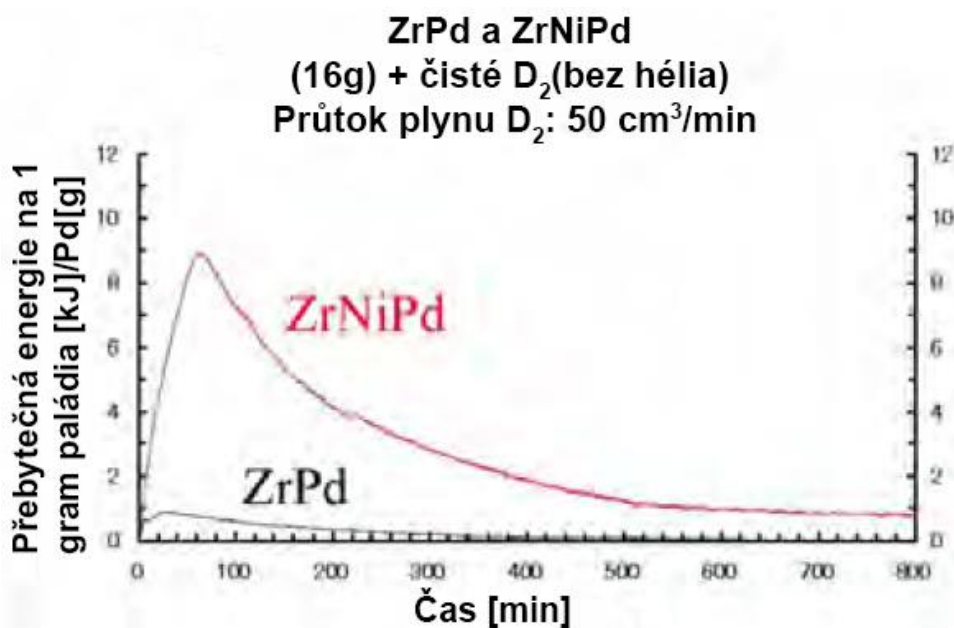
Obr. 3.5 Porovnání teplot reaktorů pro oba materiály [13]

Pro další porovnání byl použit stejný materiál s rozdílnou rychlostí tlakování plynem deuteria. S rychlostí toku $50\text{cm}^3/\text{min}$ se porovnával experiment s rychlostí $70\text{cm}^3/\text{min}$. První případ vydržel již zmíněných 308 min, kdežto pro větší rychlost toku se dosáhlo zlepšení na 335 min. [13]

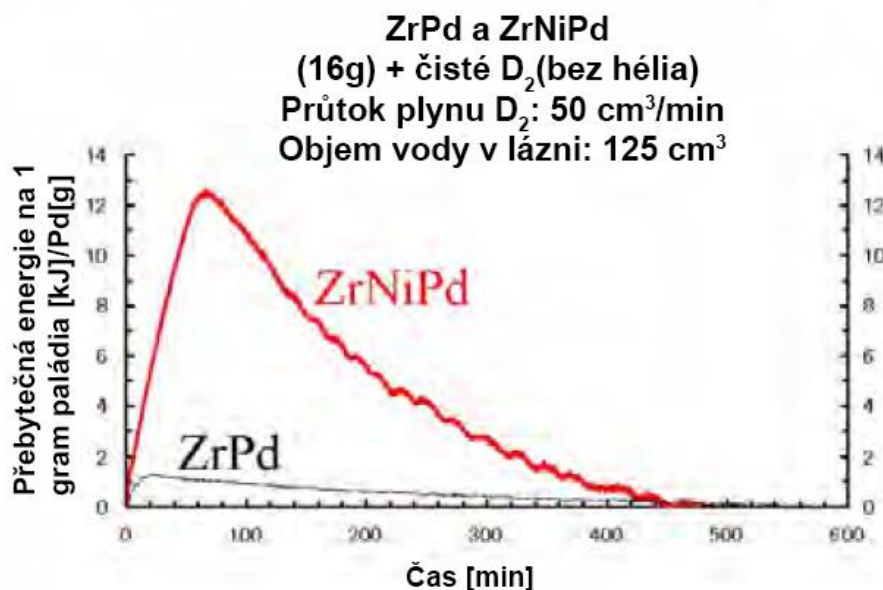


Obr. 3.6 Porovnání teplot reaktorů při použití prášku ZrNiPd s rozdílnou rychlostí toku plynu D_2 [13]

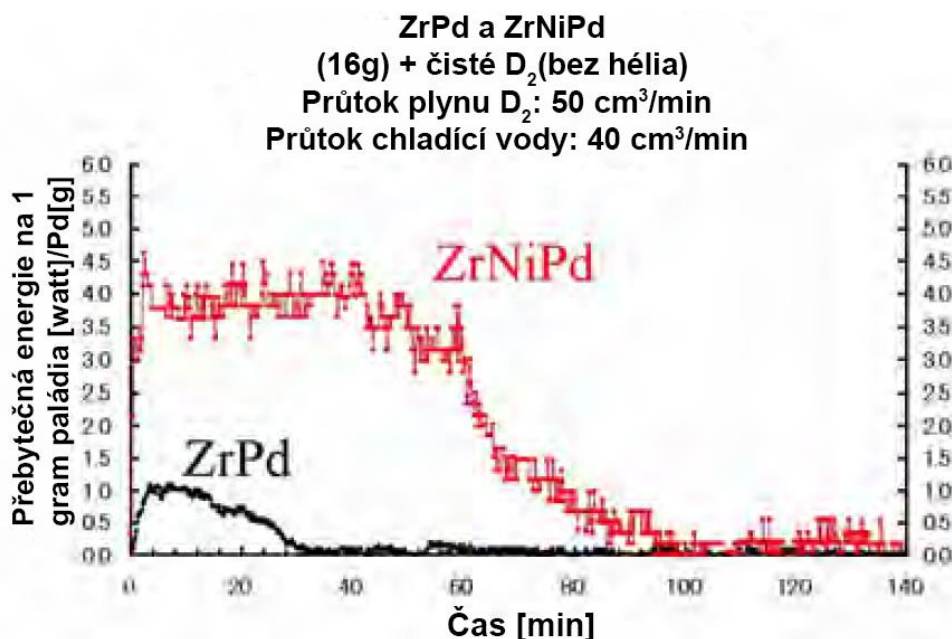
Vzhledem k tomu, že byl reaktor umístěn v místnosti, tudíž byl chlazen pouze okolním vzduchem nebylo možné žádným způsobem zužitkovat přebytečné teplo a kontrolovat teplotu reakce a tím ji udržovat na potřebných hodnotách produkce. Proto byly pro další pokračování experimentu navrženy 3 typy chlazení. Prvním typem bylo chlazení vzduchem v kryté nádobě, energie se vypočítá na základě změn teplot T_{in} , T_s a T_f . Pro druhý zkoušený typ chlazení je potřeba reaktor umístit do vody o konstantním objemu a na základě změny její teploty lze vypočítat změnu energie. Třetím typem je chlazení konstantním průtokem vody. Na reaktor jsou připevněny měděné trubky, ve kterých proudí voda. Voda je na vstupu chlazená chladičem. Změna energie se určí pomocí změna teploty vody na vstupu a na výstupu. Tyto navržené typy chlazení byly otestovány pro oba nanoprášky vždy o hmotnosti 16 g. Jako nejvhodnější typ pro stabilní hodnoty užitečného přebytečného tepla byl vyhodnocen chladič typu č.1 [13]



Obr. 3.7 Porovnání přebytečné energie pro oba materiály při použití chladičového typu č.1 [13]



Obr. 3.8 Porovnání přebytečné energie pro oba materiály při použití chladicího typu č.2 [13]



Obr. 3.9 Porovnání přebytečné energie pro oba materiály při použití chladicího typu č.3 [13]

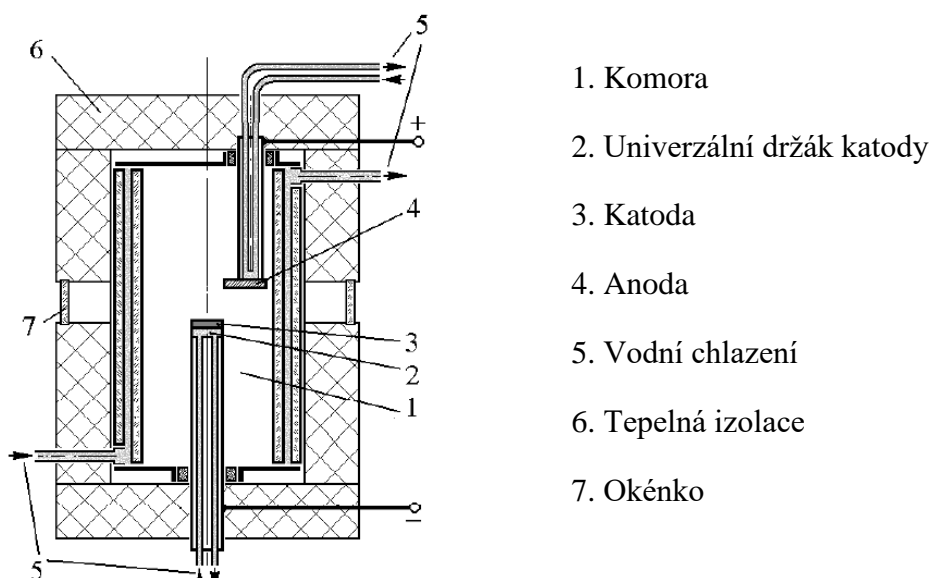
Z grafů je patrný velký rozdíl v generování energie obou testovaných materiálů. Prášek ZrPd je ve všech měřeních znatelně horší než druhý testovaný prášek ZrNiPd. Výsledky prvního a druhého typu chlazení jsou z důvodu neaktivního chlazení velmi podobné. První typ generoval lehce nižší hodnoty energie na 1 gram paládía, ale po delší dobu. Naopak druhý typ generoval vyšší hodnoty po kratší dobu. Třetí typ generoval nejvíce energie. V grafu 3.9 je energie zaznačena v jednotkách [kJ]/Pd[g]. Při přepočtu na [kJ]/Pd[g] vychází průměrná hodnota na 16,66 [kJ]/Pd[g], což je hodnota vyšší než maximum křivek obou předchozích typů. Navíc by nestabilní hodnoty u chlazení 1 a 2 byly pro potenciální budoucí generátor nepraktické. [13]

Experiment byl soustředěn i na měření hodnot radiačních produktů. Byly naměřeny nízké hodnoty He₄, čímž se potvrdil výskyt nukleární reakce. [13]

3.3 GLOW DISCHARGE

3.3.1 EXPERIMENT VĚDCŮ A.B. KARABUTY, E.A. KARABUTY

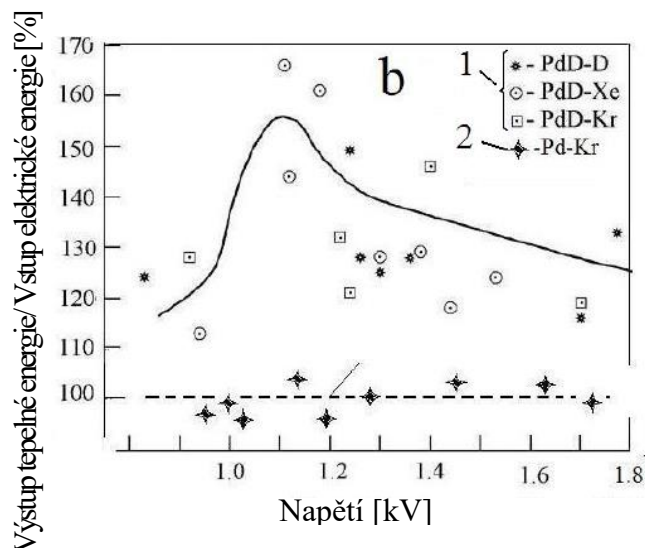
K experimentu byl použit reaktor dle obrázku 3.10. Dbalo se na vysokou přesnost měření, tudíž byly jednotlivé okruhy rozděleny a chlazeny zvlášť, na každém vstupu a výstupu vodního chlazení k elektrodám k vakuové nádobě byly umístěny 2 senzory k přesnému měření teplot vody a každý vstupní parametr byl pečlivě měřen. Celková chyba takové sestavy i při vysokých energetických úrovních nepřekročí 1 %. [14]



Obr. 3.10 Schéma použitého reaktoru [14]

Po kalibraci kalorimetru následovalo plnění paládiové katody deuteriem na hodnoty D/Pd blízké 1. Provedla se celkem 4 měření. V prvním měření byla do reaktoru umístěna katoda, která nebyla předem plněna deuteriem a jako plyn během výbojů byl použit xenon. Dle očekávání bylo opět potvrzeno, že bez deuteria v krystalické mřížce katody nedochází ke vznikům přebytečného tepla. Ve zbylých 3 experimentech byla použita již předem plněná katoda se 3 kombinacemi plynů (deuterium, xenon a krypton). Hodnoty tlaků nejsou ve zprávě zmíněny, ale na základě použité metody lze předpokládat, že se pohybovaly pod 40 tory. Hodnoty proudu se pohybovaly v rozmezí 50-100 mA. Napětí bylo v průběhu několikrát změněno, čímž se získala závislost přebytečného tepla na napětí.

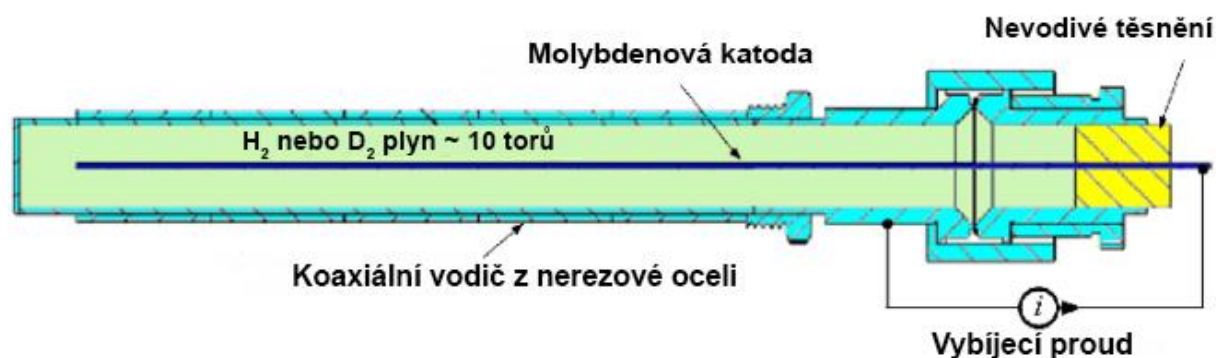
Na obrázku 3.11 jsou zaznačeny naměřené údaje. Číslem 1 jsou označeny dvojice předem plněných katod s různými plyny, číslem 2 je označena katoda bez deuteria. Nejvyšších teplot přebytečného tepla se dosahovalo v rozmezí napětí 1000 až 1300 voltů, přičemž úplně nejvyšší hodnota přebytečného tepla byla 8 wattů se získkem energie 170 % v případě výbojů v kryptonu. Během reakcí byl zaznamenán výskyt hélia a rentgenového záření. Po skončení byly katody poslány na rozbor a byl potvrzen i výskyt transmutačních produktů. [14]



Obr. 3.11 Zisk energií pro jednotlivé kombinace plynů a elektrod [14]

3.3.2 EXPERIMENT D. LETTSE A D. CRAVENSE

Experiment je netypický svým reaktorem. Katoda reaktoru je ve tvaru trubice, do které byla zasunuta molybdenová anoda. Na vnitřek trubice byla elektrochemicky nanесena vrstva paládia, cca 7-10 mikronů. [15]



Obr. 3.12 Schéma trubicového reaktoru [14]

Vznik přebytečného tepla byl měřen speciálním měděným kalorimetrem, do kterého byl reaktor zasunut. Po kalibraci reaktoru byla trubice ohřata na 200 stupňů celsia a byl do ní vpuštěn vodík. Tlak v trubici byl udržován na 10 torrech. Proud byl během celého experimentu konstantní 190 mA. Během experimentu se napětí přepínalo z nízkého napětí 300 voltů na vysoké napětí 500 voltů. Při použití vodíku se během měření přebytečné teplo nevyskytlo. Následně byl vodík opět odčerpán a nahrazen deuteriem, ostatní podmínky zůstaly stejné. Při hodnotách napětí 300 voltů se žádné odchylky v energiích neobjevili, ale při zapnutí vysokého napětí došlo k LENR. Podařilo se konstantě udržet pouze nízké hodnoty přebytečného tepla cca 3 wattů s maximem 10 wattů. [15]

3.4 NEHODY

Během výzkumu LENR došlo již k několika nehodám. Zprávy o nehodách se prozatím týkaly pouze experimentů s elektrolýzou těžké vody. Nehody týkající se ostatních metod se nevyskytly nebo nebyly zveřejněny. Ve většině případů došlo k nehodě z důvodu exploze v reakční nádobě, kromě případu, kdy došlo pouze k natavení palladiové katody vlivem vysoké teploty, následnému pádu a poškození podlahy v laboratoři. V práci uvedu 2 nehody, jednu pro případ uzavřené reakční nádoby a druhou, ke které došlo při otevřené reakční nádobě. [16]

3.4.1 SRI INTERNATIONAL

Jedná se o nejvážnější nehodu, ke které při výzkumech došlo. Zemřel 1 člověk a další 3 byli lehce zraněni. K incidentu došlo 2. ledna 1992 během experimentu s elektrolýzou těžké vody ve výzkumném středisku SRI International v Kalifornii. V průběhu experimentu z neznámého důvodu došlo k explozi, která roztrhla reakční nádobu a z kontejneru ve kterém byla nádoba umístěna vystřelil 15 cm ocelový váleček, který zasáhl Dr. Andrewa Rileyho, ten naneštěstí zraněním podlehl. Další 3 vědci byli zasaženi skleněnými úlomky z roztrhnuté reakční nádoby, ale vyvázli bez vážnějších poranění. [17]

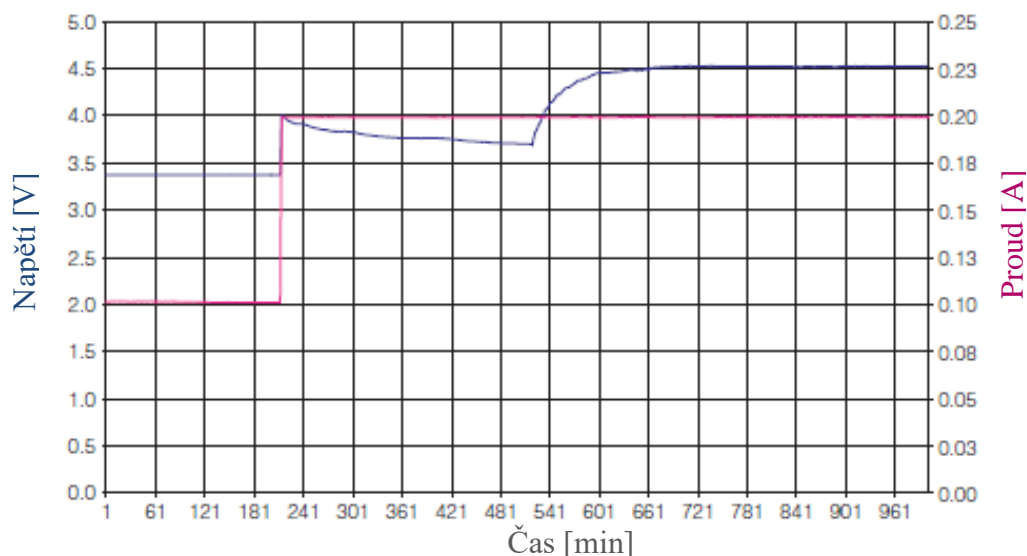
Den před incidentem bylo zjištěno, že z hadičky vedoucí ke snímači tlaku uchází plyn, únik plynu byl narychlo opraven (pomocí PTFE objímky). Následně byla celá konfigurace opět vrácena do vodní lázně a více precizní oprava naplánována na následující den. Ráno dalšího dne byl zjištěn další únik plynu. Dr. Riley tedy napřed sundal víko kalorimetru, vytáhl kalorimetr z vodní lázně a držel ho na kraji nádoby, aby z něj otekla zbylá voda zpět do lázně. V tu chvíli došlo k explozi. [17]

Po provedení několika počítačových simulací se za nejpravděpodobnější příčinu považuje směs kyslíku a deuteria, která explodovala ve vrchní části kalorimetru, kde se nacházejí pouze plyny. Proto aby exploze mohla vůbec vzniknout, by musel v nádobě být zvýšený tlak dosahující 30 atmosfér. Otázkou ale zůstává, proč tento tlak nebyl naměřen přístroji, co způsobilo jeho navýšení a jak je možné, že se dostal na takovou hodnotu i přesto, že docházelo k úniku plynů, a tedy ke snižování tlaku. Tyto otázky nebyly dodnes zodpovězeny. [17]

3.4.2 FACULTY OF SCIENCE LUMINY

Nehoda se stala v září 2004 na Univerzitě Aix-Marseille. Při průběhu elektrolýzy s paládiovou katodou a drátovou platinovou anodou v těžké vodě došlo po 30 hodinách experimentu k explozi a roztržení dewarové nádoby. Při nehodě nebyl nikdo zraněn. [16]

I u tohoto experimentu není stále jasné, co přesně k explozi vedlo. Na rozdíl od předchozího zmíněného incidentu se v tomto případě jednalo o otevřenou reakční nádobu, takže plyny mohly volně odcházet. Schéma, které bylo použito se skládalo z dewarové nádoby s otevřeným koncem, na kterou byl volně položen kondenzátor. Jelikož nebyl nijak utěsněn tak mohly plyny bez problému opouštět reakční nádobu. K explozi nádoby došlo 5 hodin po zvýšení hodnoty proudu z 0,1 A na 0,2 A. Se zvednutím proudu se dle očekávání zvedlo napětí. Později bylo z dat zjištěno, že se napětí po zvýšení začalo chovat anomálně a téměř konstantně klesalo až do chvíle, kdy došlo k explozi. Pokles napětí mohl indikovat zvýšení teploty uvnitř nádoby, případně kumulaci energie v nádobě. [16]



Obr. 3.13 Hodnoty napětí a proudu v závislosti na čase [16]

Jako příčina exploze se nepředpokládá reakce kyslíku s deuteriem, protože plyny mohly volně odcházet z nádoby. Navíc původní obsah elektrolytu byl pouze 100 ml a po 30 hodinách experimentu se ho v nádobě muselo nacházet velmi malé množství. Pro úplné vyvrácení této příčiny byly provedeny dva testy. V prvním z nich byla sestavena stejná aparatura s rozdílem, že na otevřeném konci dewaru byl umístěn platíonový drát pod proudem, aby vyvolal explozi. K výbuchu opravdu došlo, ale nadzvedl pouze vrchní část nádoby. V druhém testu byla otevřená část přilepena ke kondenzátoru silikonovým lepidlem, tudíž se z otevřené nádoby stala nádoba uzavřená. Výbuch i v tomto případě vůbec nádobu nepoškodil. Důvod exploze se nepodařilo vypátrat. [16]



Obr. 3.14 Dewarová nádoba poškozená výbuchem [16]

4 BUDOUNOST LENR

Budounost LENR je momentálně obtížné odhadnout. Není ani úplně jisté, zdali se dosáhne stavu, kdy bude možná její reálná aplikace. Neexistuje teoretické vysvětlení, nedaří se pokaždé efektu dosáhnout a úrovně získaných energií se u většiny experimentů pohybují stále poměrně nízko. Nicméně experimenty s nadměrnými produkcemi se již podařilo provést a aktuálním cílem je získání kontroly a pravidelnosti v dosahování těchto produkcí. Pokud se to podaří, tak je dosti pravděpodobné, že se studená fúze stane jedním z hlavních zdrojů energie. Na základě některých dosažených výsledků lze určit teoretické představy o budounosti generátorů pracujících na principech LENR. Hlavními předpoklady jsou: [2, 18]

1. Vysoké COP. Poměr výstupní energie vůči vstupní energii. Jeho hodnoty u LENR se očekávají nad 25. Experimenty přesahující tyto očekávání již byly několikrát provedeny. V některých neověřených experimentech se vyskytly poměry až 800. Avšak většina experimentů se současně pohybuje pod číslem 5. Za předpokladu, že z nějakých důvodů opravdu došlo k tak vysokým číslům, má LENR velmi slibnou budounost. U reaktoru ITER vyvíjeného na principu horké fúze se pro porovnání předpokládá s COP=10. [18]

2. Téměř čistá energie. LENR neprodukuje žádné skleníkové plyny, jako palivo se nepoužívají radioaktivní materiály, a i když se jedná o jaderné reakce, nejčastějším produktem je helium, jehož záření odstíní i kousek papíru. V některých případech sice dochází k výskytu neutronů a gama záření, ale ne vždy, tudíž je zcela možné, že při pochopení chování reakce půjde těmito typům záření zcela zabránit. [18]

3. Nízká cena. Všechny doposud zkoušené prototypy a reaktory použité v experimentech jsou v porovnání s dnes používanými zdroji el. energie velmi malé a principy poměrně jednoduché. Dále lze předpokládat, že při docílení očekávaného COP bude provoz generátoru na principu LENR velmi levný, protože spotřebuje málo paliva při zisku velkého množství energie. Jednoduchost reaktorů směřuje k rychlému rozšíření pro všemožné účely. Počítá se s lokálním využitím přímo u spotřebitelů v domácnostech, případně s postupujícím trendem zmenšování jako zdroj energie dopravních prostředků, spotřebičů nebo dokonce i mobilních zařízení, ale to už jsou velmi odvážná tvrzení. [18]

Samozřejmě není možné zapomenout na bezpečnost. Ta je u LENR reaktorů stále neznámou. Během experimentů již došlo k několika explozím. Exploze sice byly velmi malé, ale to platilo i pro výkony explodovaných sestav. Velikost explozí v případě experimentů s COP na úrovních stovek může mít již úplně jiné následky, navíc i přestože by byly LENR reaktory velmi bezpečné, pořád se v jejich názvu vyskytuje slovo „nukleární“ a vzhledem k pravděpodobnému cílení reaktorů jakožto lokálních generátorů do budov, tak nastává otázka, kolik lidí je schopno akceptovat vlastnění nukleárního reaktoru ve vlastní domácnosti a jak by na masové rozšíření reaktorů eventuálně reagovaly vlády jednotlivých států. [16,17,18]

ZÁVĚR

V práci jsem se zabýval existencí efektu, při kterém dochází za nízkých teplot k reakcím atomů deuteria. Zpočátku se efekt nedařilo reprodukovat, nedařily se naměřit očekávané nukleární produkty a jednotlivci se dopouštěli chyb při experimentech. Všechny tyto faktory vyvolaly skepticismus, který se částečně efektu drží dodnes.

Během výzkumu byla zjištěna důležitost plnění krystalické mřížky vhodných kovů deuteriem. Plnění deuteriem se zdá být hlavní podmínkou pro vznik LENR. Stejně postupy byly testovány i s vodíkem, ale efektu se vždy dostavilo pouze u deuteria. Nejvíce pozornosti je kladeno třem metodám: elektrolytické, gas loadingu a gas discharge. Nukleární produkty byly sice u všech metod úspěšně naměřeny, čímž se potvrdil výskyt fúze, ale množství a druh nukleárních produktů se při experimentech liší. Naměřené nukleární produkty často neodpovídají množství přebytečného tepla. Nejvíce nahodilý výskyt má gama záření. Vliv na to můžou mít transmutační reakce, které mají v některých případech za následek vznik radioaktivních izotopů. Při výzkumu došlo i k několika explozím během experimentů s elektrolýzou těžké vody, při jedné z nich byl smrtelně zraněn Dr. Andrew Riley.

Vědci si od budoucích aplikací LENR slibují velký skok v energetice. Je reálné, že po úplném pochopení efektu se reaktory rozšíří do domácností, protože se předpokládá jejich vysoká efektivita, jednoduchost a cenová dostupnost, nicméně uvedení fúze na trh je vzhledem k současnému stavu prozatím velkým otazníkem.

V práci jsem shrnul momentální znalosti o LENR, stručnou historii objevení a zmínil možné budoucí aplikace, čímž jsem splnil cíle práce. Bakalářskou práci je možno rozšířit o nezmíněné metody vzniku LENR, případně o možné nové poznatky, kterých by mohlo být dosaženo během následujících let.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Cold Fusion Research* [online]. Washington, DC 20585: National Capital Area Skeptics, 1989 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.lenr-canr.org/acrobat/ERABreportofth.pdf>
- [2] STORMS, Edmund. *A Student's Guide to Cold Fusion* [online]. KivaLabs, Santa Fe, NM, 2012 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://lenr-canr.org/acrobat/StormsEastudentsg.pdf>
- [3] STORMS, Edmund. *What Is Cold Fusion and Why Should You Care?* [online]. KivaLabs, Santa Fe NM, 2012 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/c1fa/ba6640fbf51a536b8ee118cb2856b8313664.pdf>
- [4] NAGEL, David J., KATINSKY, Steven B., ed. *Overview of the 21st International Conference on Condensed Matter Nuclear Science* [online]. 2017 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/e1d0/fc213106a658d0541ea5ea120e8ad3e5bbfd.pdf>
- [5] MILES, Melvin H., Kendall B. JOHNSON a M. Ashraf IMAM. *Electrochemical Loading of Hydrogen and Deuterium Into Palladium and Palladium-Boron Alloys* [online]. Lake Toya, Hokkaido, Japan, 1996 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/e10d/806ccc10a09a0cd7fe14eb38581f2935079a.pdf>
- [6] HAGELSTEIN, Peter L., et al. *NEW PHYSICAL EFFECTS IN METAL DEUTERIDES* [online]. 2004 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/3314/d03bcdbbb2041b3b9e6d5b2f61b03af98d3d.pdf>
- [7] NAGEL, David J. *Scientific Overview of ICCF15* [online]. 2009 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.lenr-canr.org/acrobat/NagelDJscientific.pdf>
- [8] STORMS, Edmund a Brian SCANLAN. *Detection of Radiation Emitted from LENR* [online]. 2008 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.lenr-canr.org/acrobat/StormsEdetectiono.pdf>
- [9] MOSIER-BOSS, Pamela A. *A Review on Nuclear Products Generated During Low-Energy Nuclear Reactions (LENR)* [online]. MIT, Cambridge, USA, 2012 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: http://coldfusioncommunity.net/pdf/jcmns/v6/135_JCMNS-Vol6.pdf
- [10] NAGEL, David J. *Evidence of Operability and Utility from Low Energy Nuclear Reaction Experiments* [online]. 2017 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.lenr-canr.org/acrobat/NagelDJevidenceof.pdf>
- [11] DARDIK, I., et al. *Intensification Of Low Energy Nuclear Reactions Using Superwave Excitation* [online]. 2003 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228677537_Intensification_of_low_energy_nuclear_reactions_using_superwave_excitation

- [12] DARDIK, I., et al. *Ultrasonically-excited electrolysis Experiments at Energetics Technologies* [online]. 2008 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265993057_Ultrasonically-excited_electrolysis_Experiments_at_Energetics_Technologies
- [13] ARATA, Y., Y.C. ZHANG a X.F. Wang WANG. *Production of Helium and Energy in the "Solid Fusion* [online]. 2009 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.lenr-canr.org/acrobat/ViolanteVproceeding.pdf#page=116>
- [14] KARABUT, A.B. a E.A. KARABUT. *Experimental Results on Excess Power, Impurity Nuclides, and X-ray Production in Experiments with a High-voltage Electric Discharge System* [online]. 2012 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: http://coldfusioncommunity.net/pdf/jcmns/v8/139_JCMNS-Vol8.pdf
- [15] LETTS, Dennis G. a Dennis J. CRAVENS. *Building & Testing a High Temperature Seebeck Calorimeter* [online]. 2018 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.dropbox.com/s/jn6ep3di6de24v0/Letts%20D%206-4.pdf?dl=0>
- [16] BIBERIAN, Jean-Paul. *Unexplained Explosion During an Electrolysis Experiment in an Open Cell Mass Flow Calorimeter* [online]. 2009 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.lenr-canr.org/acrobat/BiberianJPunexplaine.pdf>
- [17] SMEDLEY, S.I, S. CROUCH-BAKER a M.C.H. MCKUBRE. *The January 2, 1992, Explosion in a Deuterium / Palladium Electrolytic System at SRI International* [online]. 1993 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.lenr-canr.org/acrobat/IkegamiHthirdinter.pdf>
- [18] NAGEL, David J. *Potential Advantages and Impacts of LENR Generators of Thermal and Electrical Power and Energy* [online]. 2012 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/3653/1a6105a24d39cf4b67809bde606aa6e7b057.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CMNS		Condensed matter nuclear science
COP		Coefficient of preformance
CR-39		Dráhový detektor částic
ERAB		Energy Research Advisory Board
LENR		Low energy nuclear reactions
PTFE		Polytetrafluorethylen
SRI		Stanford Research Institute
I	[A]	Proud
T	[°C]	Teplota
T _f	[°C]	Teplota příruby
T _{in}	[°C]	Teplota prášku
T _s	[°C]	Teplota povrchu
U	[V]	Napětí